

УСТОЙЧИВАЯ РЕГУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ПРИ ДВИЖЕНИИ СЛОЯ ЖИДКОСТИ В МИНИКАНАЛЕ

Д.В. Феокистов, Е.Г. Орлова, Н.О. Артёмов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ

Одна из главных тенденций современного развития техники – это миниатюризация устройств [1-3]. В различных миниразмерных энергетических устройствах осуществляются процессы конденсации и испарения [5, 6] в мини- и микро- каналах [7]. В технологиях энергетической, химической, нефтехимической и горнодобывающей промышленности происходит переход от процессов тепло – и массообмена в большом объеме к процессам в тонких слоях жидкости.

Применение миниканальных технологий существенно повышает эффективность теплообменных устройств. Преимуществами теплообменников с миниканалами по сравнению с традиционными являются увеличение поверхности теплообмена на единицу объема, меньшая материалоемкость, а также более высокие коэффициенты теплоотдачи.

Несмотря на перспективность исследования процессов испарения тонких слоев жидкости, движущихся в миниканале под действием потока газа, экспериментальных [1, 6, 7] и теоретических [8, 9] работ недостаточно для детального понимания процессов тепломассопереноса на поверхности раздела жидкости и газа.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование возникновения самоорганизованных структур на поверхности подвижного слоя жидкости обтекаемого потоком газа в миниканале.

Экспериментальные исследования проведены на установке [10] по изучению динамики испарения и конвективных течений в миниканалах. Концепция эксперимента представлена на рис. 1 и включает использование апробированных ранее [6] методов изучения тепломассопереноса через межфазную границу раздела жидкости и газа.

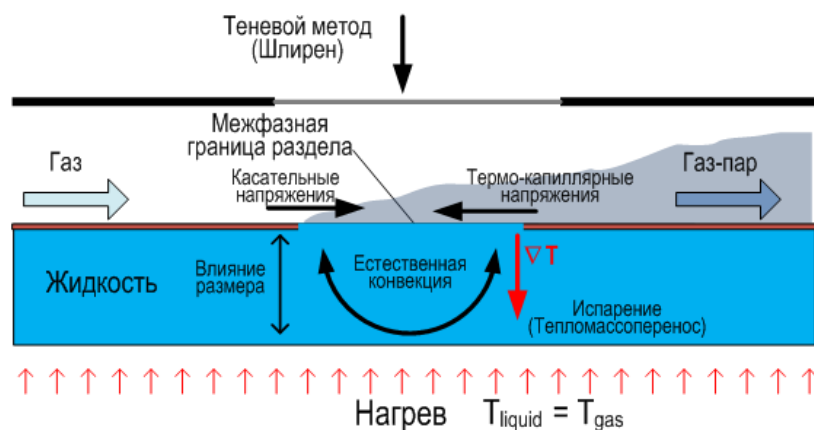


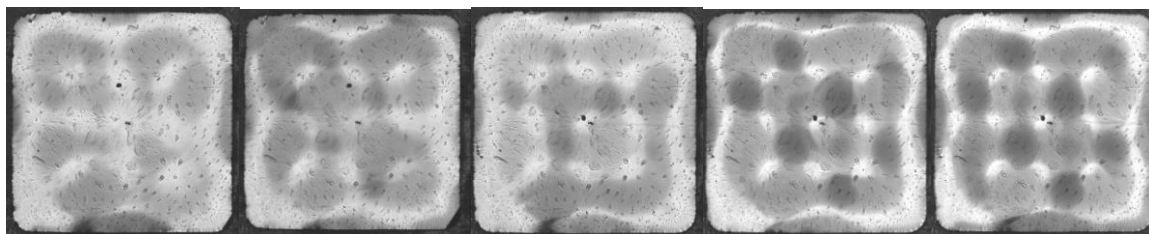
Рис. 1. Концепция эксперимента.

Эксперименты проводились при атмосферном давлении в рабочем участке, толщина подвижного слоя жидкости изменялась от 1 до 8 мм. Исследование пленок жидкости толщиной от 1 до 10 мм обусловлено тем, что в мини- и микроканальной аппаратуре используются слои жидкости, толщина которых попадает в данный диапазон. В качестве рабочей жидкости использовался этанол (95% (масс.), ГОСТ Р 51723-2001). Поверхность испарения, обдуваемая потоком газа (воздуха), составляла 100мм^2 при размере выреза в пластине $10\times 10\text{ мм}$. Расход газа варьировался от 100 до 1000 мл/мин с шагом 100 мл/мин, что соответствует средней скорости газа от 0,014 м/с до 0,139 м/с. Выбор интервала изменения скорости газа обусловлен техническими возможностями регулятора расхода, используемого в экспериментальной установке. Эксперимент повторялся при температурах газа и жидкости от 20 до 50 °С, погрешность измерения термopарами составляла не более 0,1 °С. Диапазон изменения экспериментальных температур, обусловлен физико-химическими свойствами рабочей жидкости, нагрев до температур выше 50°С приводит к нарушению экспериментальных условий, необходимых для получения достоверных результатов.

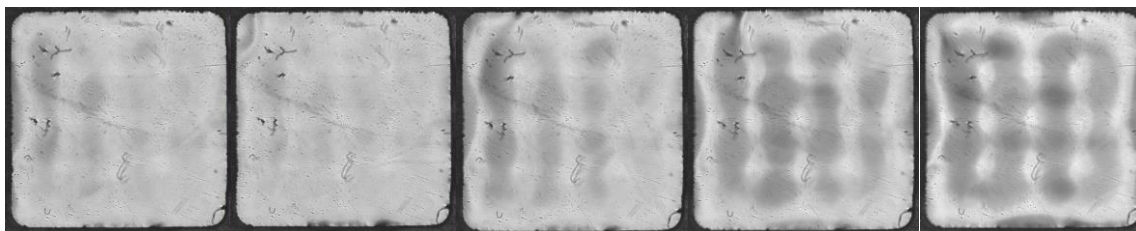
Известно [3], что наиболее распространенный метод визуализации конвективных течений – теневой, основанный на температурной зависимости коэффициента преломления света. Холодные нисходящие потоки фокусируют свет и в проекции на экране выглядят светлыми, а теплые восходящие действуют рассеивающе и выглядят темными.

Полученные типичные фотокадры поверхности пленки жидкости в мини-канале представлены на рис. 2.

H = 1мм



H = 2мм



H = 3мм



H = 4мм

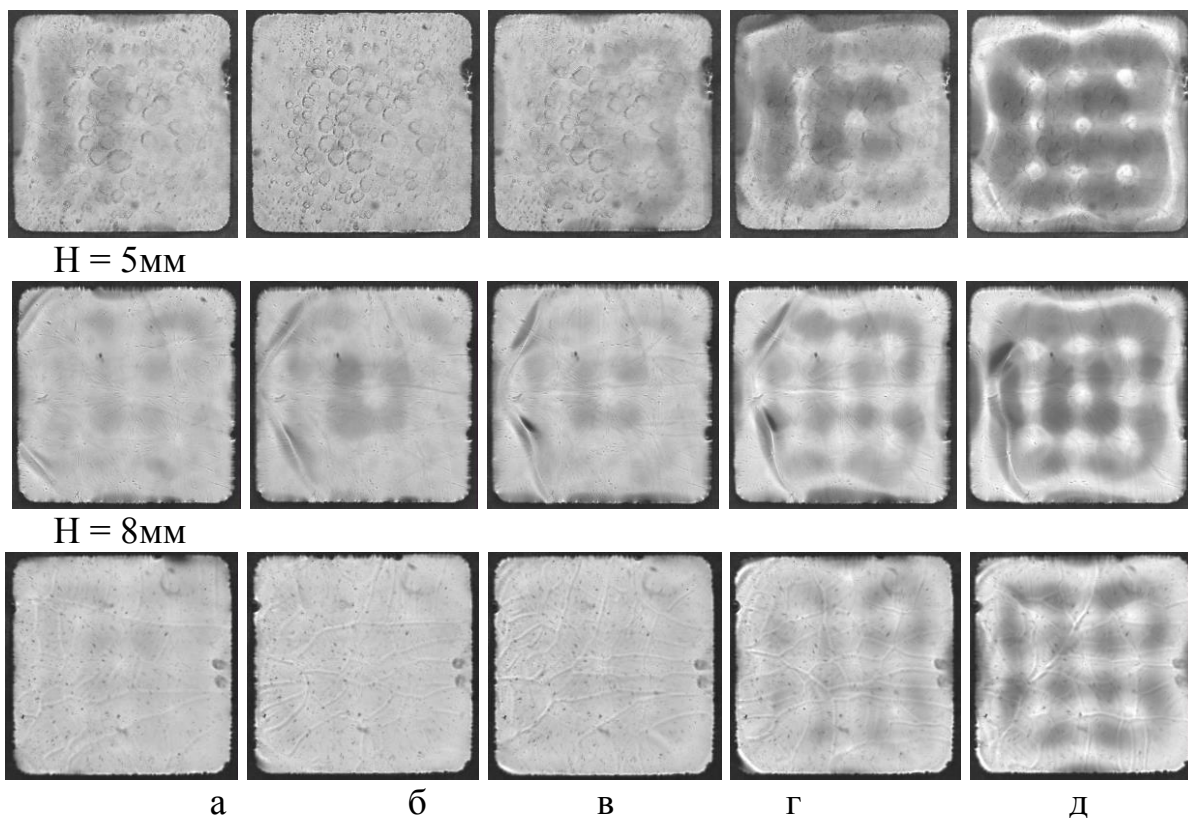


Рис. 2. Типичные фотокадры межфазной поверхности при температуре 50 °С. Скорость воздуха миниканале, м/с: а) 0,028; б) 0,055; в) 0,083; г) 0,111; д) 0,139.

По результатам анализа фотокадров рис. 2 установлено, что в подвижном слое жидкости, обтекаемом потоком газа образуется самоорганизованная структура в виде пространственных ячеек квадратной формы. Формирование ячеек происходит пропорционально увеличению средней скорости потока воздуха, при максимально возможной скорости воздуха ячейки имеют наиболее выраженную форму.

Установлено, что при толщине слоя жидкости 5 мм со стороны входа газа в миниканал, на поверхности жидкости образуется регулярная структура в виде «вала жидкости», которая становится более выраженной при возрастании скорости потока газа.

При использовании миниканала, в котором формируется слой жидкости толщиной жидкости 8 мм «вал жидкости» не зарегистрирован, установлено наличие только конвективных ячеек.

В проведенных ранее работах [11] исследовалось влияние структуры пленки на интенсивность испарения, отмечалось, что различного рода неустойчивости способны увеличивать массовую скорость испарения. Можно сделать вывод, что возникновение максимума скорости испарения при толщине слоя жидкости 5 мм, и снижение интенсивности испарения при дальнейшем увеличении толщины слоя жидкости может быть вызвано регулярной структурой, которая образуется при толщине слоя 5 мм.

Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-7538.2016.8).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чиннов Е.А., Кабов О.А. Особенности двухфазного течения в прямоугольном микроканале // Письма в Журнал технической физики. – 2010. – Т. 36. – № 10. – С. 52-58.
2. Накоряков В.Е., Мисюра С.Я., Елистратов С.Л. Особенности испарения капель воды на нагреваемой поверхности // Доклады академии наук. – 2013. – Т. 448. – № 3. – С. 293.
3. Кузнецов Г.В., Феоктистов Д.В., Орлова Е.Г., Батищева К.А. Режимы испарения капли воды на медных подложках // Коллоидный журнал. – 2016. – Т. 78. – №3. – С. 335-339.
4. Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Численное исследование тепломассопереноса при движении «тандема» капель воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. – 2012. – № 12. – С. 531-538.
5. Lyulin Y., Kabov O. Evaporative convection in a horizontal liquid layer under shear-stress gas flow // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – V. 70. – PP. 599-609.
6. Afanasyev I., Orlova E., Feoktistov D. Evaporation of stationary alcohol layer in minichannel under air flow // EPJ Web of Conferences. – 2015. – V. 82. – 01054.
7. Misyura S.Y., Morozov V.S. Nonisothermal desorption of the LiBr aqueous salt solution in minichannels // MATEC Web of Conference Volume. – 2015. – V. 37. – 01033.
8. Kuang, Y., Wang W., Miao J., Yu X., Zhuan R. Theoretical analysis and modeling of flow instability in a mini-channel evaporator // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – V.104. – PP.149-162 (in Press).
9. Вараксин А.Ю. Гидрогазодинамика и теплофизика двухфазных потоков: проблемы и достижения (Обзор) // Теплофизика высоких температур. – 2013. – Т.51. – №3. – С.421.
10. Люлин Ю.В., Феоктистов Д.В., Афанасьев И.А., Чачило Е.С., Кабов О.А., Кузнецов Г.В. Измерение скорости испарения с локальной поверхности слоя жидкости под действием потока газа // Письма в ЖТФ. – 2015. – Т. 41. – Вып. 14. – С.1-7.
11. Д.В. Зайцев, Д.А. Родионов, О.К. Кабов. Критический тепловой поток в локально нагреваемой пленке жидкости, движущейся под действием потока газа в мини-канале. // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35. – № 7. – С.680-682.